

---

**SULLA PROBABILE FUSIONE DEL CARBONIO NELL'ARCO ELETTRICO CANTANTE  
E NELLA SCINTILLA,**

*per il Dott. M. LA ROSA <sup>1)</sup>.*

I progressi rapidi realizzati nel campo delle basse temperature hanno permesso la liquefazione di tutti i gas, una volta ritenuti *permanenti*. Perfino l'elio, che oppose le più gravi difficoltà, è stato recentemente vinto.

Un successo egualmente completo non possiamo ancora vantare sui corpi per l'addietro considerati come *refrattari*; alcuni di essi infatti non sono stati fin'oggi fusi. Fra questi va certamente scritto il carbonio, e sembra, secondo l'opinione prevalente, che vi si debbano comprendere il boro, il molibdeno, il wolframio.

Antiche esperienze di Despretz <sup>2)</sup> fecero per un certo tempo ritenere che anche il carbonio avesse ceduto alla potenza del calore. Sotto l'azione simultanea dell'arco voltaico, del cannello ossidrico e dei raggi solari, concentrati da una grande lente a scalone, il carbonio fu visto rammollirsi, e furono viste formarsi e colare delle piccole goccioline di un corpo durissimo, che incideva il rubino, e che perciò fu ritenuto diamante nero.

Ma le brillanti ricerche di Moissan <sup>3)</sup> fecero completa giustizia di questo primo tentativo.

Esse dimostrarono che il carbonio puro, mantenuto per un tempo relativamente lungo nel forno elettrico, non presentava mai tracce di fusione. Le diverse varietà (carbone di zucchero, di legno, di storta, ecc.) si trasformavano sempre in grafite,

1) Ricerche fatte nell'Istituto Fisico della R. Università di Palermo. Comunicate al VII Congr. Intern. di Chimica Applic., Londra, maggio 1909.

2) Despretz. Compts Rendus de l'Acad. des Sciences. t. XXVIII, pag. 755; 1849.

3) Moissan. Recherches sur les différentes variétés de carbone. Mem. III. Reproduction du diamant. Ann. de Chim. et de Phys. ser. 7, t. VIII; pag. 466, 1896.

ma ogni granellino, esaminato al microscopio, *conservava la sua forma più o meno frastagliata, e non presentava mai traccia di saldatura coi granellini circostanti.*

I segni di fusione, già descritti da Despretz (e notati spesso da coloro che hanno lavorato per un certo tempo con l'arco voltaico), si presentano a causa delle impurezze contenute nel carbone. Si formano allora, come Moissan ha dimostrato, dei composti di carbonio fusibili nell'arco elettrico, alcuni dei quali (siliciuro e boruro) hanno una durezza uguale e anche superiore a quella del diamante trasparente <sup>1)</sup>.

Lo stesso Moissan, però, credette che la fusione del carbonio, impossibile alla pressione ordinaria, si potesse invece ottenere sotto l'azione di elevatissime pressioni.

L'esito delle sue celebri ricerche sulla produzione artificiale del diamante, lo confermarono viemeglio in questa sua credenza, che gli era servita di guida.

Il suo pensiero completo su questo importante problema si trova sinteticamente espresso nelle conclusioni, che chiudono la memoria sopra citata:

« . . . . le carbone peut être comparé à l'arsenic, que, dans le vide, comme à la pression ordinaire, il passe de l'état solide à l'état gazeux sans prendre la forme liquide . . . . ».

« . . . . Nous estimons cependant que le carbone peut être amené à l'état liquide, mais ce phénomène ne se produit que sous l'action de presssion très fortes . . . . ».

Queste conclusioni sono state generalmente accolte, ed hanno condotto a riguardare il carbonio come un corpo addirittura infusibile a pressione ordinaria <sup>2)</sup>.

Ma evidentemente esse contengono più di quello che risulta dai fatti sperimentali.

Questi dimostrano soltanto che il carbonio alla temperatura dell'arco elettrico sublima senza fondere; si poteva quindi solamente affermare che il carbonio, a pressione ordinaria, non ha un punto di fusione, compreso nei limiti di temperatura raggiunti col forno elettrico; di più, se si ammette che nelle

1) Moissan, l. c., pag. 463.

2) Cfr. Landolt, Tabellen, 3 Auflage, pag. 258.

esperienze ad elevate pressioni il carbonio raggiungeva lo stato liquido (cosa che non sorge *necessariamente* dalle ricerche di Moissan <sup>1)</sup>, si poteva ancora affermare che esso è uno di quei corpi, che, sotto l'azione di forti pressioni, assumono un punto di fusione più basso.

Per potere concludere che il carbonio si comporta come l'arsenico, che cioè esso a pressione ordinaria *non può* assumere lo stato liquido, bisognava ancora provare che, alla temperatura del forno elettrico, o anche a temperature più basse, esso possiede già una tensione di vapore più elevata della pressione atmosferica.

Ma una tale circostanza non è stata mai accertata con l'esperienza; anzi, data la piccola velocità di consumo degli elettrodi di carbone nell'arco voltaico, si è piuttosto condotti a credere che fino a quella temperatura tale tensione è notevolmente minore della pressione atmosferica.

Se così è, il comportamento del carbonio si può con più ragione ravvicinare a quello dell'iodio.

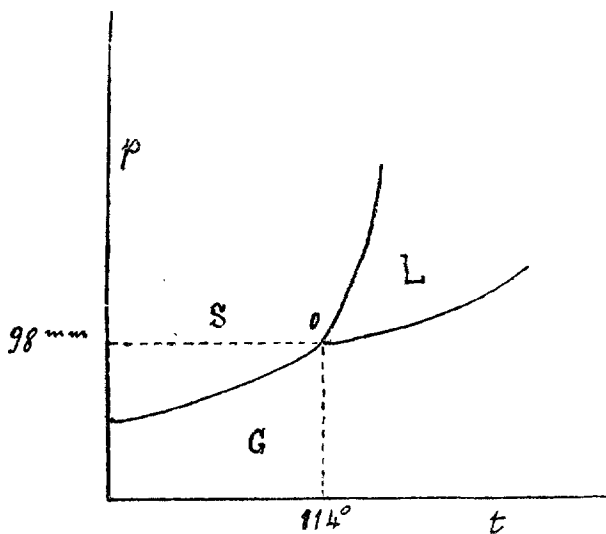


Fig. 1.

1) Infatti si può pensare, come è stato osservato da qualcuno, che le particelle cristallizzate, ottenute da Moissan, provenissero dal carbonio, che era passato in soluzione nel ferro liquido ad alta temperatura; le esperienze di Hasslingher e di Friedländer confermerebbero questo modo di vedere.

Com'è noto, questo corpo ha una tensione di vapore notevole a temperatura ordinaria, ed è perciò capace di sublimare. Se i nostri mezzi non ci permettessero di raggiungere la temperatura del punto triplo ( $114^{\circ}$ ), noi conosceremmo il jodio nelle sole fasi solida e gassosa; ma sarebbe certamente erroneo concludere che la fase liquida a pressione ordinaria non può mai esistere, appunto perchè la sua tensione di vapore, alle temperature che in questo momento supponiamo accessibili, si mantiene minore della pressione atmosferica. Un semplice innalzamento di temperatura può produrre, come infatti produce, la fusione.

Ad ogni modo, anche volendo lasciare completamente imprecisato il valore della tensione di vapore del carbonio fino alla temperatura del forno elettrico, si può, con la stessa ragione, ravvicinare il comportamento del carbonio tanto a quello dell'arsenico, come a quello dell'jodio. Potremo quindi con uguale probabilità aspettarci che il carbonio possa, o no, venire fuso per mezzo di un conveniente innalzamento di temperatura e senza aumento di pressione.

La quistione della fusibilità del carbonio a pressione ordinaria rimane, quindi, aperta; ed all'esperienza sola tocca la decisione.

Per ciò è necessario possedere dei mezzi, che permettano di raggiungere temperature più alte di quella del forno elettrico.

In proposito le mie ricerche sulla trasformazione dello spettro dell'arco cantante <sup>1)</sup> mi autorizzavano, se non a ritenere, certamente a sperare, che la temperatura raggiunta dall'arco, nelle condizioni in cui esso dà brillantissimo lo spettro di scintilla, fosse superiore a quella dell'arco continuo e del forno elettrico. Ricordo che, in queste condizioni, la potenza media specifica, spesa nel cammino della scarica, è assai più grande di quella che si può ammettere per l'arco continuo, anche se di grandissima intensità. Anzi, da un certo punto di

1) Memoria della R. Acc. dei Lincei, ser. 5.a, vol. VII, pag. 451, 1908; oppure questo periodico, ser. 5.a, vol. XVII, pag. 208, 1909; oppure Ann. der Phys., IV fol., Bd. 29, s. 249, 1909.

vista, si potrebbe mettere in discussione la tendenza di Moissan d'impiegare intensità di corrente colossali nel suo forno elettrico (fino a 2200 ampère). È noto infatti che il grado di eccitazione luminosa dell'arco tende a decrescere al crescere dell'intensità, e nel mio lavoro citato ho messo in rilievo che la potenza specifica tende a diminuire parallelamente; si potrebbe quindi pensare ad una diminuzione, anzichè ad un aumento, di temperatura, al crescere dell'intensità <sup>1)</sup>.

Tali considerazioni m'indussero a tentare la fusione del carbonio per mezzo dell'arco musicale.

A questo scopo mi sono servito della solita lampada ad arco, a forma di spinterometro, con i carboni disposti verticalmente. L'inferiore penetrava, a sfregamento dolce, dentro un crogiuolo di materia refrattaria, per un foro praticato nel fondo; il superiore passava attraverso ad un foro uguale praticato nel coperchio. Questo crogiuolo era assicurato ad un sostegno fornito di cremagliera, mediante cui si poteva, con facilità, regolare l'altezza di esso rispetto all'arco.

Il circuito d'alimentazione era a 300 volt, e comprendeva un reostato, per regolare la corrente fra 1 e 20 ampère, ed un amperometro. Il circuito derivato possedeva 60 microfarad di capacità, e resistenza ed induttanza piccolissime.

Riempito il crogiuolo, fino a poco più di metà dell'altezza, con polvere di carbone, ottenuto da zucchero cristallizzato, se ne regolava la posizione rispetto all'arco, in modo che l'estremo dell'elettrodo inferiore restava tre o quattro mm. al di sotto della superficie dello strato di polvere: indi si accendeva l'arco.

Se lo strato di polvere sovrapposta all'elettrodo inferiore non aveva uno spessore eccedente quello sopra indicato, il regime oscillatorio non stentava a stabilirsi. Allora la polvere era violentemente cacciata in tutti i sensi, ed il suono emesso dall'arco diveniva più intenso; ma, regolata con cura l'altezza del crogiuolo, si riusciva a mantenere costantemente sull'elet-

1) Non di meno dei vantaggi potevano conseguirsi per il fatto che l'arco si trovava in un ambiente chiuso, nel quale le perdite rimanevano forse pressochè costanti, mentre cresceva molto la quantità di calore introdotta.

trodo inferiore un piccolo strato di polvere (facendola ricadere continuamente dalla superficie libera, divenuta imbutiforme, mercé l'aiuto di opportuni colpetti), che non impacciava in modo notevole il pieno sviluppo del fenomeno oscillatorio.

Aspettando qualche tempo, si trovavano sui due elettrodi, rimasti intatti, (la polarità poteva essere qualsiasi, ma era preferibile prendere come positivo l'inferiore) delle incrostazioni, diverse fra loro per forma e dimensioni. Quella dell'elettrodo positivo era più larga che alta, aveva la forma esterna di un tronco di cono, che appoggia con la base più piccola sull'elettrodo; l'altra base era notevolmente scavata, sicchè l'incrostazione nell'insieme aveva l'aspetto di una coppa; e poteva raggiungere l'altezza di 6 o più mm., ed il diametro massimo di 14 mm.

Quella dell'elettrodo negativo aveva una forma allungata, presso a poco cilindrica, con un diametro poco inferiore a quello dell'elettrodo (11 mm.), presentava sulla superficie laterale dei piccoli rigonfiamenti, e poteva raggiungere l'altezza di 10 mm. In cima era più sottile ed arrotondata.

La superficie laterale delle due incrostazioni era nera, e vi si distinguevano attaccati i granel lini di carbone; invece le superficie terminali, sulle quali si appoggiava l'arco, erano di tinta grigia non uniforme, e presentavano delle larghe venature di un grigio più sbiadito; erano inoltre dotate di lucentezza grassa e sembravano leggermente smaltate.

Distruggendo queste incrostazioni, si trova una parte periferica poco resistente, quasi friabile, la quale con un piccolo sforzo si lascia ridurre in una polvere, che al microscopio mostra i granelli di carbone primitivi, trasformati in tutto o in parte in grafite, ed una parte più interna, che è di grafite molto compatta e resistente agli sforzi di rottura; essa è molto untuosa e lucente. Esaminate al microscopio, queste massecole di grafite non lasciano distinguere più traccia dei contorni e della struttura delle particelle di carbone primitive.

Alle volte quando la ricaduta della polvere nell'arco non era graduale, il nocciolo dell'incrostazione inferiore non era uniforme e presentava parecchi strati alternati alcuni friabili, altri compatti.

Si poteva credere a tutta prima che la formazione delle descritte incrostazioni potesse dipendere da piccole quantità di impurezze, contenute nella polvere di carbone adoperata e negli elettrodi, analogamente a quanto fu sopra osservato per le esperienze di Despretz. I composti fusibili, che il carbonio forma colle impurezze, avrebbero infatti potuto fare da cemento, e saldare insieme le particelle di carbone circostanti, già trasformate in grafite dall'arco.

Son perciò passato alla determinazione quantitativa delle ceneri, lasciate tanto dal carbone di zucchero, che dagli elettrodi impiegati e dalla grafite ottenuta dopo il trattamento. Ecco i risultati:

Carbone di zucchero	0,08 %
» degli elettrodi	0,33 %
Grafite ottenuta	0,05 % .

La quantità di grafite bruciata in questa determinazione fu uguale a gr. 1,290.

È notevole il fatto che questa grafite si mostrò molto resistente alla combustione. Risultò da una prova preliminare, che non era possibile fare la combustione nelle canne di vetro generalmente impiegate per questo scopo, poichè alla temperatura alla quale la grafite cominciava a bruciare, il vetro si rammolliva e si perforava. Fu quindi necessario fare uso di una canna di porcellana.

Il residuo lasciato dalla grafite era dunque molto piccolo, più piccolo ancora di quello del carbone di zucchero impiegato. Il risultato di questa analisi, la grande tenacità delle massecole, e la compattezza osservata al microscopio, mi conducono ad escludere che le incrostazioni descritte potessero risultare da particelle di grafite cementate insieme, nel modo già detto, mediante piccole quantità di materie estranee.

Si potrebbe ancora pensare che la formazione di queste incrostazioni fosse dovuta a sublimazione del carbonio.

In tale ipotesi il loro maggiore o minore sviluppo avrebbe dovuto dipendere principalmente dalla durata del fenomeno, e solo in linea accessoria dalle altre circostanze che lo accompagnano. Ma osservando direttamente l'interno del crogiuolo,

attraverso ad una piccola fessura, ho potuto notare che, durante il fenomeno oscillatorio, l'arco è circondato da un piccolo turbine, che travolge in continuazione la polvere incandescente fra i due elettrodi, e che le incrostazioni si formano in un tempo tanto più breve, e raggiungono facilmente dimensioni tanto più grandi, quanto più vivo è il turbine e più rumoroso è l'arco.

Di più, ripetendo l'esperienza in condizioni identiche con l'arco continuo, e prolungandone anche per parecchie ore la durata, non si ritrova il risultato avanti descritto. Si riesce ad ottenere sugli elettrodi (se si prolunga molto l'esperienza e se si cerca di tanto in tanto di comprimere la polvere tra i carboni dell'arco) degli agglomerati, che hanno una forma esteriore analoga, ma essi presentano una coesione molto piccola; sotto l'azione della debole compressione, esercitata dalle dita nel prenderle, si rompono, risolvendosi in una polvere, che ha gli stessi caratteri di quella che proviene dallo strato esterno delle incrostazioni avanti descritte.

L'insieme di queste osservazioni ci porta quindi ad ammettere che le incrostazioni suddette sono prodotte dall'accumularsi successivo di goccioline tenuissime di carbone; cioè che *le particelle di carbone, investite dalla scarica intermittente, raggiungono lo stato liquido e si saldano agli elettrodi, fra cui esse sono continuamente travolte*. Da ciò deriva, in conformità a quanto, per altre ragioni, era stato da me ritenuto, che *la temperatura dell'arco cantante, nelle condizioni in cui esso emette lo spettro di scintilla, è realmente più elevata di quella dell'arco ordinario e del forno elettrico*.

Ciò ammesso, nulla impediva di credere che le particelle di carbonio liquido, raffreddandosi in condizioni opportune, avessero potuto cristallizzare sotto forma di diamante.

Però, com'è noto, il solo stato allotropico del carbonio, stabile ad elevata temperatura, è quello di grafite; il diamante stesso, introdotto nell'arco elettrico, si gonfia e si trasforma in grafite.

Volendo, dunque, assicurarmi se fosse stato possibile ottenere particelle di diamante, era necessario operare in modo



che le particelle di carbonio, investite e fuse dalla scarica, potessero tornare rapidamente e definitivamente a bassa temperatura.

Una tale condizione non poteva essere soddisfatta nelle esperienze sopra descritte; tutta la polvere di carbone, che circondava gli elettrodi, si manteneva costantemente all'incandescenza bianca, e quindi, se in seguito alla liquefazione, tendevano a prodursi delle particelle di diamante, esse dovevano tosto trasformarsi in grafite.

Per tenere la massa di carbone a bassa temperatura, ho fatto diversi tentativi; ma in ultimo ho ricorso all'impiego di una poderosa scintilla condensata.

La potenza media spesa della scarica nell'unità di massa, in questo caso <sup>1)</sup>, è dello stesso ordine di grandezza, e forse più grande, di quella dell'arco precedentemente impiegato; ma essendo più piccola la quantità di energia trasportata da ciascuna scarica, e le scariche stesse assai meno frequenti, la temperatura dell'intera massa di carbone sottomessa al trattamento elettrico, superava sempre di poco la temperatura dell'ambiente.

In queste condizioni le poche particelle, investite dalla scarica, potevano sempre raggiungere l'elevata temperatura, necessaria per la fusione, ma in un tempo brevissimo tornavano definitivamente a temperatura ordinaria.

La scintilla usata era fornita dalla scarica di una batteria di 72 grandi bocce di Leyda, riunite in superficie. La capacità di ciascuna, calcolata in base alle dimensioni, risulta poco maggiore di 500 centimetri.

La batteria era caricata per mezzo di un grande rocchetto d'induzione Klingelfuss, di 80 cm. di scintilla, eccitato mediante interruttore di Wehnelt, da una corrente media di 40 amp. circa.

La massa di carbone, che per un certo tempo era rimasta sotto l'azione delle scintille, veniva sospesa dapprima in bromoformio (densità 2,9); si separavano così da essa poche particelle più pesanti, che, dopo isolate e lavate con alcool ed

1) Cfr. M. La Rosa, l. c.

etere, venivano bollite per un tempo abbastanza lungo in acido solforico concentrato e poi nell'acqua regia.

Dopo averle ben lavate con acqua distillata, alcool ed etere, venivano raccolte in una capsulina di platino, e bollite per qualche tempo in acido fluoridrico. In questi trattamenti buona parte delle particelle raccolte venivano distrutte, una parte inevitabilmente dispersa, per i numerosi lavaggi e le conseguenti separazioni, pochissime rimanevano ancora nella capsula.

Su queste poche particelle rimaste, veniva rifatta la prova di densità col bromoformio (ciò mi dispensava da ulteriori trattamenti, specialmente da quello all'acido nitrico e clorato potassico per ossidare ed eliminare la grafite) e venivano finalmente raccolte quelle sole, che cadevano in fondo al liquido.

Queste, sono per lo più di colore grigio di tonalità diverse, ed hanno forma più o meno arrotondata; ve ne sono bianche e trasparenti, qualcuna nettamente cristallizzata, trasparente e rifrangentissima.

Le trasparenti cadono anche nel joduro di metilene, hanno quindi una densità maggiore di 3,2.

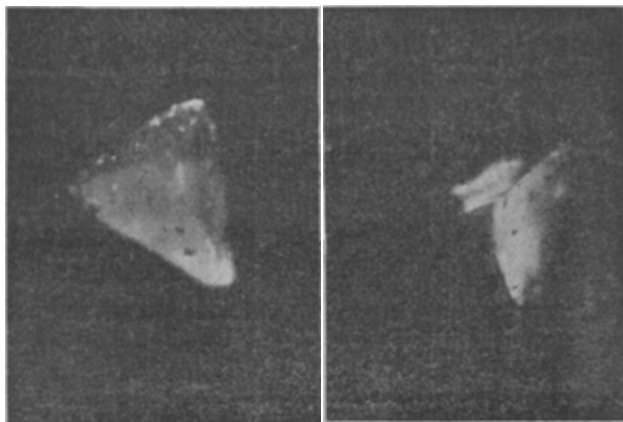


Fig. 2.

Si trovano qui unite le microfotografie di due fra le più belle particelle ottenute; una di esse costituisce un cristallo

unico, e sembra una forma combinata di due tetraedri, con faccie curve; l'altra si presenta come un aggregato di parecchi cristallini, più o meno incompleti; quelli che meglio si vedono sembrano due tetraedri e due piramidette a base quadrata. Qualche altra si presenta come un aggregato di molti cristallini minutissimi, dei quali difficilmente si riesce ad indovinare la forma.

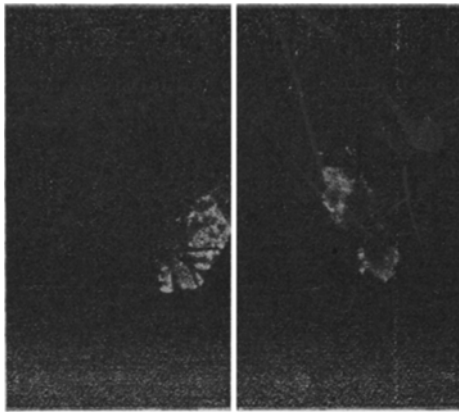


Fig. 3.

Ho potuto anche fare delle prove di durezza, ed ho accertato che le descritte particelle rigano nettamente il rubino.

Due soli corpi, per quanto è a mia conoscenza, possiedono le proprietà fisiche e chimiche sopra riferite: Il diamante ed il carborundo. Il primo cristallizza nel sistema del cubo; il secondo, che è un siliciuro di carbonio, cristallizza nel sistema del prisma esagonale. Due vie, quindi, si possono seguire per distinguere i due corpi l'uno dall'altro: l'esatta determinazione del sistema cristallino; la combustione. Ma fin' ora non ho potuto procedere nè all'uno nè all'altro esame.

Posso solamente riferire un buono argomento per indebolire la supposizione che le descritte particelle siano di carborundo.

In questi ultimi giorni, per consiglio del Prof. Peratoner, ho ripetuto le esperienze, cercando di escludere in modo quasi

completo la presenza di silice; ho adoperato perciò elettrodi di platino, chiusi in un involucro pure di platino; l'isolamento era fatto mediante caucciù ed in punti abbastanza lontani dal posto in cui avveniva la scarica, per essere sicuri che questo corpo non era da essa neanche sfiorato.

Il carbone di zucchero adoperato aveva un residuo piccolissimo e debbo alla cortesia dello stesso Prof. Peratoner l'analisi, di cui dò il risultato:

*Determinazione delle ceneri:*

- |                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| 1) da 10 gr. di carbone | 0,0049 gr. di ceneri |
| 2) » » » » » »          | 0,0048 » » »         |

*Composizione delle ceneri:* Il residuo di 28 gr. di carbone fu ripreso sei volte a b. m. con HCl concentrato, e tenuto a secco per un'ora la volta, per rendere insolubile la silice; il residuo si sciolse quasi tutto in HCl diluito, lasciando qualche fiocchetto appena percettibile ed indosabile. La soluzione cloridrica diede le reazioni del Fe e del Ca. Non si trovarono tracce determinabili di silice.

Se si pensa che il carbone di zucchero, sottomesso al trattamento elettrico non arrivava a 5 gr., e che quello investito e trasformato dalla scarica era certamente una frazione piccolissima di grammo, si può avere un'idea della piccolezza estrema delle ipotetiche tracce di silice, che avrebbero potuto entrare in combinazione col carbonio, per effetto della scarica. I risultati di queste esperienze furono sostanzialmente gli stessi di quelli avuti nelle esperienze precedenti.

La congettura più probabile, che sia permesso di fare sulla natura delle particelle descritte, resta quindi quella che esse siano di diamante; non pertanto mi riservo ancora il giudizio definitivo, nella speranza che possa presto riuscire a conquistare l'ultimo elemento di prova.

Ai chiarissimi Professori Macaluso e Peratoner ed al mio amico Dott. Palazzo vada l'espressione della mia gratitudine, per l'aiuto amorevole ed i validi consigli.

---